

# 열재생 사이클을 이용한 히트펌프의 난방 성능 향상에 관한 연구

## COP Improvement of Heat Pump with Regenerative Cycle

유영선\* 장진택\* 김영중\* 윤진하\* 이건중\*

정희원

Y. S. Ryou J. T. Jang Y. J. Kim J. H. Yun K. J. Lee

### 1. 서론

세계기후협약으로 인하여 우리 나라는 화석연료 사용량을 최소한 2010년까지 2000년수준으로 감축시켜야할 처지에 놓여 있다. 따라서 지구 온난화의 주요인이 되고 있는 이산화탄소 배출량을 2010년 예상배출량의 21%정도를 감축해야 하며, 경제활동은 1/4이상이 축소되는 영향을 받게 된다(차재호, 1998). 따라서 현재의 화석에너지에 의존하는 난방법은 자연에너지 또는 전기에너지 등으로 대부분이 전환되어야 할 것으로 전망하고 있다. 그러나 농업에 이용되고 있는 난방에너지는 화석에너지에 집중되어 있으며, 온실, 축사, 버섯재배사 등에서 겨울철 난방에 소요되는 에너지 비용은 총경영비의 10~40%를 차지하고 있다.

자연에너지와 전기에너지를 조합하여 난방에 이용할 수 있는 방법중의 하나로 히트펌프 이용기술이 있으며, 국내의 경우 히트펌프는 주로 냉방 또는 냉동을 목적으로 이용되고 있으나, 1980년 이후 전기가 풍부한 경제선진국을 중심으로 난방 또는 냉난방겸용의 히트펌프가 개발되어 주택, 빌딩, 온실 등의 공조시스템에 이용되고 있다.

이론적으로 히트펌프는 응축기의 고온을 이용하는 경우가 증발기의 저온을 이용할 때 보다 성능계수(COP)가 1.0 정도 높은 것으로 알려져 있으며, 공기를 열원으로 이용하는 히트펌프에 있어서는 열원의 온도가  $-5.0^{\circ}\text{C}$  이하로 내려갈 때 증발기에 형성되어 열전달을 저해하는 성에를 제거하는 방법의 개발과 열원의 온도를 증발기를 통과하는 냉매의 증발온도 이상으로 유지시키는 방법의 개발 등이 난방성능을 향상시키기 위한 주요 연구과제이다(Semi, 1995). 본 연구에서는 히트펌프를 2중 덕트 구조의 일체형으로 제작하여 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기로 이어지는 배관의 길이를 최소화하여 분리형 히트펌프에서 성능저하의 원인이 되는 관내압력손실을 최소화하였으며, 실내에서 응축기로 유입되는 공기에 포함된 열의 일부를 흡수하여 실외에서 증발기로 유입되는 공기를 예열하므로써 외기 온도가  $-5.0^{\circ}\text{C}$  이하로 떨어지는 경우에도 증발기를 통과하는 공기의 온도를  $-5.0^{\circ}\text{C}$  이상으로 유지하면서 성에의 형성을 방지할 수 있는 열재생 사이클을 부착하여 외기온에 관계없이 안정한 성능을 발휘할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 또한 4-way 밸브를 이용하여 난방과 냉방을 겸할 수 있도록 하였으며, 본 논문에서는 열재생 사이클에 의한 히트펌프의 난방 성능 향상에 관하여 논하고자 한다.

---

\* 농업기계화연구소 농업에너지연구실

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 열재생 장치의 구성

외기온이  $-8.0^{\circ}\text{C}$  이하로 떨어지는 경우에 히트펌프의 성능저하를 방지하기 위한 방안으로 실내에서 히트펌프의 응축기로 흡입되는 공기에서 흡수한 열을 이용하여 실외에서 증발기로 흡입되는 저온의 공기를 예열할 수 있는 열재생 장치를 그림 1과 같이 설계·제작하였고, 그림에서 보는 바와 같이 인접한 2중 덕트 구조내에 2개의 송풍기와 열교환을 위한 섬유벨트, 감속모터 등으로 구성하였다.

섬유벨트는 시계반대방향으로 회전운동을 하면서 Warm Air Duct와 Cool Air Duct를 연속적으로 통과하게 되며, 이때 실내에서 유입되는 Warm Air Duct를 통과하는 공기에서 열을 흡수한 섬유벨트는 Cool Air Duct를 통과하면서 외부에서 유입되는 저온의 공기에 전달하게 된다. 그리고 Cool Air Duct를 통과하면서 Warm Air Duct에서 흡수한 열을 방출한 섬유벨트는 다시 Warm Air Duct를 통과하면서 열을 흡수하게 된다. 이상의 과정을 반복하면서 섬유벨트는 Warm Air Duct에서 흡수한 열을 지속적으로 Cool Air Duct를 통과하는 저온의 공기에 공급하여 열을 재생하게 된다.

이와 같은 열재생 방법은 열회수형 환풍기에서 이용하고 있는 방법을 응용한 것이며, 벨트의 재질과 두께를 변화시키므로서 이용목적에 부합하는 열재생 효율을 얻을 수 있게 된다.

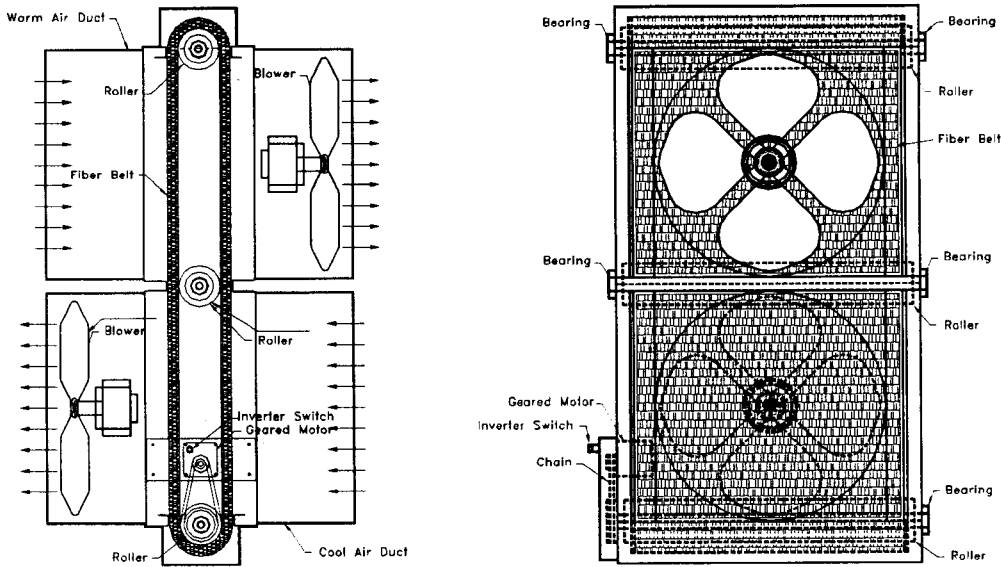


Fig. 1 Schematic representation of regenerative device.

## 2.2 히트펌프시스템의 구성

본 연구에서 제작한 히트펌프는 그림 2에서 보는 바와 같이 저온의 대기를 열원으로 하여 공간을 난방하고, 실내공기에서 열을 흡수하여 외부로 방출하므로써 공간을 냉방하는 공조장치 일종이다. 일반적으로 열펌프는 주로 냉방과 냉동의 목적으로 개발되어 이용되고 있으며, 냉난방겸용으로 제작된 열펌프가 외국의 경우 일부 이용되고 있으나 물을 열원으로 이용하는 경우가 대부분을 차지하고 있다. 공기를 열원으로 하는 열펌프는 대기온도가  $-8^{\circ}\text{C}$  이하의 저온일 경우에 증발기에 성애가 형성되어 냉매의 열흡수를 저해하기 때문에 효율이 낮아 사용이 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 증발기의 성애제거를 위하여 개발된 열재생 장치, 냉난방 전환에 있어서 6개의 솔레노이드밸브와 4개의 체크밸브를 이용하여 냉매의 역류를 완전히 방지하는 사이클을 구성하였고, 컴퓨터서 용량은 2마력이었으며, 전체시스템을 일체형으로 구성하여 현재 이용되고 있는 분리형의 단점인 냉매유동관내 압력손실을 최소화하였다.

난방사이클에서 작동유체(냉매R22)는 열교환기(증발기)내에서 액체미립자가 외부공기덕트를 통하여 유입되는 저온의 공기에서 열을 흡수하면서 증발하여 저온의 기체가 된 다음 솔레노이드밸브, 체크밸브, 사방밸브, 오일분리기를 거쳐 압축기로 유입된다. 이때 전기를 동력원으로 동작하는 압축기는 유입된 저온의 기체 냉매를 고압으로 압축하여, 고온의 기체로 만든다. 이와 같이 형성된 고온·고압의 기체는 사방밸브, 솔레노이드밸브, 체크밸브를 거쳐 열교환기(응축기)를 통과하게 된다. 고온·고압의 기체냉매가 열교환기(응축기)를 통과하는 동안 실내에서 유입된 저온의 공기는 기체냉매로부터 열을 흡수하여 고온의 공기가 되어 다시 실내로 방출되고, 이때 고온·고압의 기체냉매는 저온·고압의 액체냉매로 상이 변하게 된다.

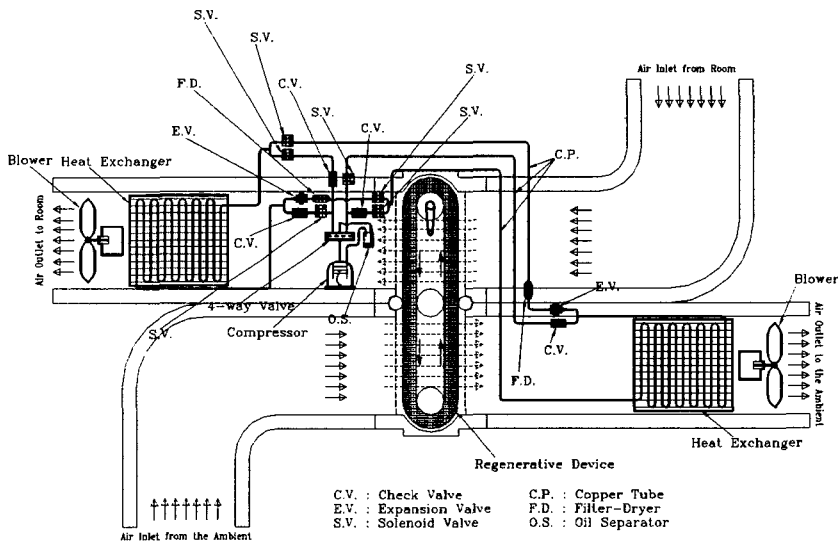


Fig. 2 Air-to-air heat pump system with regenerative device.

이와 같이 액화된 냉매는 솔레노이드밸브, 필터드라이어를 통과한 후 노즐형태의 팽창밸브를 통과하면서 증발이 용이한 저온·저압의 미립화 액체로 변하여 다시 열교환기(증발기)에 유입되어 외부공기덕트에서 들어오는 저온의 공기에서 열을 흡수하면서 기화되어 저온·저압의 기체가 된다. 이상과 같은 폐회로속에서 냉매는 반복적인 순환을 되풀이하면서 외부공기에서 저온열을 흡수한 열과 압축기의 일을 열에너지의 형태로 변환하여 실내공기에 공급하게 된다. 이때 열재생장치의 열전달용 섬유벨트는 실내공기덕트와 외부공기덕트를 반복적으로 이동하면서 실내에서 유입되는 공기의 열을 일부 흡수하여 외부공기덕트로 유입되는 저온의 공기에 전달하므로써 외부에서 유입되는 공기의 온도를 높혀 열교환기(증발기)의 표면에 성애가 형성되는 것을 방지하는 역할을 한다.

### 2.3 계측장치

열재생 장치와 히트펌프의 성능을 계산하기 위하여 온도, 풍속, 냉매유량, 전력량 등을 측정해야 하며, 계측용 Recorder로 DR230(Yokogawa, Japan)을 사용하였다. 각각의 측정량은 표 1에서 보는 바와 같은 Sensor와 Transducer를 이용하여 Recorder에 입력하였다.

Table 1 Sensors and transducers for measuring temperature, air velocity, watt and flow rate of refrigerant.

Measuring Items			
Temperature	Air Velocity	Watt	Flow Rate
Sensor : T type Probe : $\phi$ 1.0mm Accuracy : $\pm 0.05\%$	Model : TSI8465-225 (USA) Range : 0~50m/s Output : 0~5V Accuracy : $\pm 2.0\%$	Model : 3181-01 (Hioki, Japan) Range : 0~2000W Output : 0~5V Accuracy : $\pm 1.0\%$	Model : PT868 (Panametrics, USA) Range : 0~12.2m/s Output : 4~20mA Accuracy : $\pm 1.0\%$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 열재생 장치의 온도효율

열회수형 환풍기의 온도효율은 일반적인 열효율을 산정하는 방법과는 달리 다음 식에 의하여 계산할 수 있으며, 이와 같은 계산방법을 열재생 장치의 온도효율 계산에 이용하였다.

$$\eta = (T_r - T_o)/(T_i - T_o)$$

여기서,  $T_r$  : 열교환기를 통과한 후 실내로 유입되는 공기온도

$T_o$  : 외기온도

$T_i$  : 실내에서 열교환기로 유입되는 공기온도

본 연구에서는 열교환을 위한 벨트 소재로 다공질의 Random Matrix 구조를 가진 두께 20mm의 섬유를 이용하였으며, 송풍기의 풍속을 일정하게 유지시킨 상태에서 섬유벨트의 속도를 조절하여 열교환량을 조절하였다.

그림 3은 섬유벨트의 속도를 300rpm으로 고정한 상태에서 실내공기와 실외공기의 온도차를 11~14℃로 변화시켜 가며 온도효율을 측정한 결과이다.

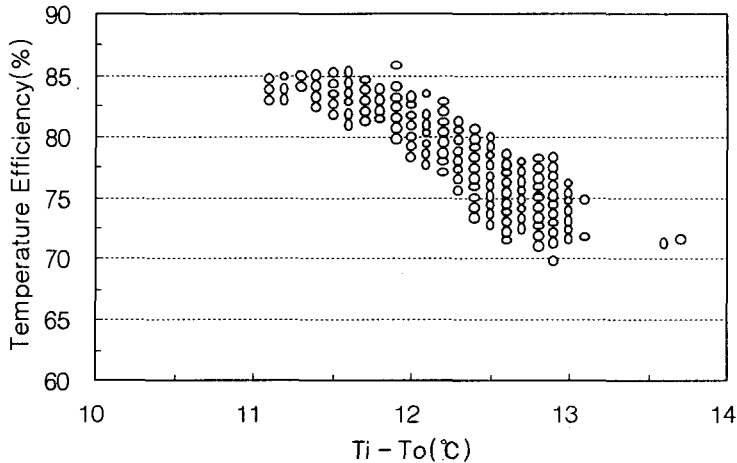


Fig. 3 Temperature efficiency of regenerative device.

그림에서 보는 바와 같이 실내의 온도차가 클수록 온도효율은 80~70%까지 직선적으로 감소하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과로 보아 온도효율을 높이기 위해서는 실내의 온도차가 커짐에 따라 섬유벨트의 회전속도를 크게 해야 할 것으로 판단된다. 실내의 온도차가 일정한 경우에 온도효율의 최대오차는  $\pm 5.0\%$ 였으며, 이는 공기중에 포함된 수분이 증발하거나 응축되면서 온도센서에 영향을 주었기 때문에 나타난 결과로 예측되며, 엔탈피 효율을 측정하여 수분의 영향을 검정해야 할 것으로 판단된다.

### 3.2 히트펌프의 성능

열재생 장치가 부착된 히트펌프의 성능을 분석하기 위하여 증발기에 유입되는 공기의 온도를  $-7.0 \sim -1.0^\circ\text{C}$ 로 변화시켜 가며 실험을 수행한 결과 그림 4에서 보는 바와 같이 외기온이 높아짐에 따라 성능계수는 3.5~4.2까지 곡선적으로 증가하였으며, 열재생 장치가 없는 기존의 열펌프에 비하여 성능계수는 약 1.0 정도 향상된 것으로 나타났다.(Semi, 1995)

실험기간 동안 증발기에 성애가 형성되는 현상은 없었으며,  $-7.0^\circ\text{C}$  이하의 저온에서도 실험을 수행하여 성애의 형성 여부를 관찰하고  $-15.0^\circ\text{C}$ 에서 COP 2.5 이상을 목표로 지속적인 연구를 수행할 예정이다.

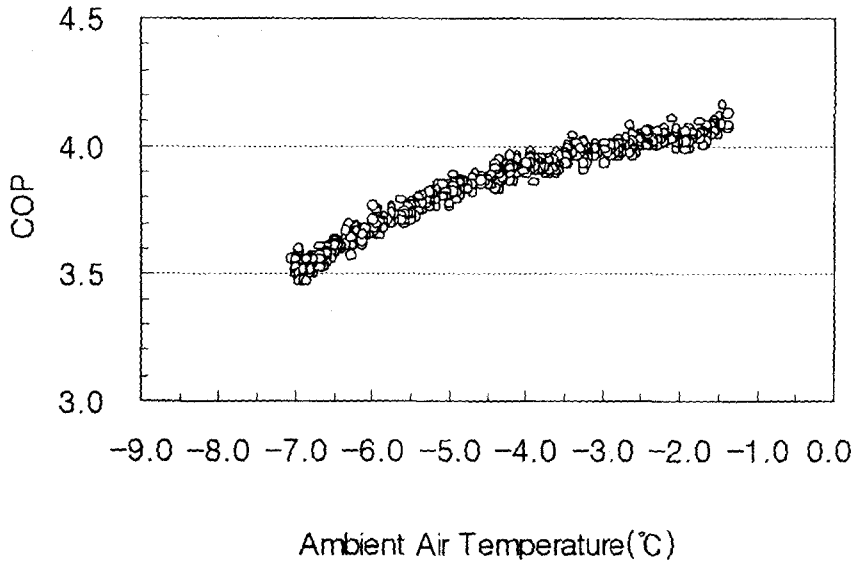


Fig. 4 COP of heat pump with regenerative cycle in heating mode.

#### 4. 요약 및 결론

공기를 열원으로 이용하는 히트펌프가 실용성을 구비하기 위해서는 열원의 온도가  $-5.0^{\circ}\text{C}$  이하로 내려갈 때 증발기에 형성되어 열전달을 저해하는 성에의 형성을 방지하고 열원의 온도를 증발기를 통과하는 냉매의 증발온도 이상으로 유지시키는 방법의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 히트펌프의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 열재생 사이클을 이용하여 일체형으로 설계·제작한 공기-공기식 히트펌프의 성능과 열재생 장치의 온도효율을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 열재생 장치의 온도효율은 실내외 온도차가  $11\sim 14^{\circ}\text{C}$ 로 증가함에 따라  $80\sim 70\%$ 까지 직선적으로 감소하였으며, 온도효율의 최대오차는  $\pm 5.0\%$ 였다.
2. 열재생 장치가 부착된 히트펌프의 성능계수는 증발기 유입 공기의 온도가  $-7.0\sim -1.0^{\circ}\text{C}$  일 때  $3.5\sim 4.2$ 까지 곡선적으로 증가하였으며, 열재생 장치가 없는 기존의 열펌프에 비하여 성능계수는 약 1.0 정도 향상된 것으로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. S. M. Sami, P. J. Tulej. 1995. A New Design for an Air-Source Heat Pump Using a Ternary Mixture for Cold Climates. *Heat Recovery Systems & CHP* 15(6) : 521-529.
2. 김현철. 1999. 히트펌프를 이용한 온돌시스템. 충북대학교 석사학위논문
3. 이건중, 송현갑. 1999. 저온측과 고온측 냉매간 열교환이 열펌프의 성능특성에 미치는 영향. *한국농업기계학회 학술대회 논문집* 4(1) : 211-218.
4. 차재호. 1998. 세계기후변화협약의 쟁점과 우리의 대응방향. [http://event.kemco.or.kr/event/weather/weather\\_3.html](http://event.kemco.or.kr/event/weather/weather_3.html)